



INSTYTUT MATEMATYCZNY POLSKIEJ AKADEMII NAUK

ul. Śniadeckich 8, 00-956 Warszawa, skrytka pocztowa Nr 21,
tel.: 48-22-522-81-00, fax: 48-22-629-39-97, e-mail: im@impan.pl, www.impan.pl

Prof. dr hab. Andrzej Warczak
Dziekan Wydziału Fizyki, Astronomii
i Informatyki Stosowanej UJ
ul. prof. Stanisława Łojasiewicza 11,
30-348 Kraków

Warszawa 26 stycznia 2015r.

Ocena rozprawy doktorskiej

Mgr Krzysztofa Głoda

pt. Ewolucja pierwotnych fal grawitacyjnych w modelach kosmologicznych Friedmanna-Lemaitre'a. Zastosowanie języków obliczeń symbolicznych.

W swojej rozprawie doktorskiej mgr Głód bada ewolucję fal grawitacyjnych w modelach kosmologicznych Friedmanna-Lemaitre'a. W szczególności otrzymuje on ogólne rozwiązania ewolucji fal grawitacyjnych i przedstawia on dwa ważne zastosowania otrzymanych przez siebie rozwiązań. W ramach pracy doktorskiej opracował on też użyteczne programy komputerowe do manipulacji równaniami różniczkowymi.

Praca zawiera pięć rozdziałów i cztery dodatki. Pierwszy, wstępny rozdział, zawiera krótkie wprowadzenie do pracy. W drugim rozdziale przedstawiono zagadnienie małych zaburzeń modeli kosmologicznych Friedmanna-Lemaitre'a. Omówiono tu ogólną metodę perturbacyjną zaproponowaną przez Lifshitz'a i wyprowadzono ogólne równania perturbacyjne dla małych zaburzeń modeli Friedmanna-Lemaitre'a. Opisano dokładnie zaburzenia w postaci fal grawitacyjnych. Przedstawiono ich równania propagacji i równania czasowej ewolucji. W rozdziale trzecim znaleziono wszystkie liouville'owskie rozwiązania ewolucji pierwotnych fal grawitacyjnych dla modeli kosmologicznych Friedmanna-Lemaitre'a zawierających stałą kosmologiczną, przestrzenie zakrzywionych, wypełnionych płynem o liniowym, barotropowym równaniu stanu dla szeregu wykładników adiabaty. Rozwiązania zostały otrzymane za pomocą klasycznej metody pochodzącej od Hermite'a i Darboux. W rozdziale czwartym przedstawiono dwa zastosowania rozwiązań równań ewolucji otrzymanych w rozdziale trzecim. Pierwsze to efekt Grishchuka, który przewiduje kreacje grawitonów na przejściu fazowym pomiędzy dwoma różnymi epokami ewolucji modelu kosmologicznego i w konsekwencji

wzmocnienie fali grawitacyjnych. Mgr Głód wykazuje, że jest to efekt sztuczny warunkowany odpowiednim przygotowaniem początkowego stanu zaburzenia. Udowadnia on, że równie dobrze może nastąpić osłabienie fali grawitacyjnej na przejściu fazowym. Drugie zastosowanie to otrzymanie nowej rodziny rozwiązań równań Einsteina zgodnego z podejściem Greena-Walda do problemu uśredniania zaburzeń w modelach kosmologicznych. Stosując ten model wykazuje on, że pole pierwotnych fal grawitacyjnych nie może naśladować stałej kosmologicznej ani innej hipotetycznej formy ciemnej energii. Rozdział piąty zawiera podsumowanie pracy. W dodatkach A, B i C przedstawiono matematyczne podstawy rozwiązań zwyczajnych równań różniczkowych Fuchsa, do których sprowadzają się równania badane przez mgr Głoda. W Dodatku D przedstawiono programy zaimplementowane przez mgr Głoda w środowisku Mathematica do otrzymywania rozwiązań równań ewolucji.

Otrzymane w rozdziale trzecim rozwiązania równań ewolucji fal grawitacyjnych są, ze względu na ich ogólność i kompletność, bardzo istotnym osiągnięciem. Do ich otrzymania mgr Głód rozwinął szereg bardzo wyrafinowanych metod matematycznych i dobrze napisanych programów komputerowych.

Mając na uwadze prowadzone obecnie próby bezpośredniego wykrycia fal grawitacyjnych przez detektory LIGO i Virgo dobrze byłoby wyliczyć również gęstość spektralną pierwotnych fal grawitacyjnych, które opisują równania ewolucji zaburzeń. Gęstość spektralna pozwoliłaby na ocenienie wykrywalności tych fal w szumie detektorów.

Szereg wyników otrzymanych przez mgr Głoda przedstawionych w pracy doktorskiej zostało już opublikowanych w prestiżowym czasopiśmie Physical Review D.

Praca jest bardzo dobrze napisana i zawiera wyczerpujące omówienie stosowanych metod i przedstawienie dotychczas otrzymanych wyników

Podsumowując, praca mgr Krzysztofa Głoda spełnia wymogi uzyskania stopnia naukowego doktora fizyki.

Prof. dr hab. Andrzej Królak



Instytut Matematyczny
Polska Akademia Nauk